

建筑结构 优秀设计图集

10

《建筑结构优秀设计图集》编委会

中国建筑工业出版社

建筑结构优秀设计图集

10

《建筑结构优秀设计图集》编委会



中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑结构优秀设计图集. 10/《建筑结构优秀设计图集》编委会. —北京: 中国建筑工业出版社, 2011. 6
ISBN 978-7-112-13077-1

I. ①建… II. ①建… III. ①建筑结构-结构设计-中国-图集 IV. ①TU318-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 052985 号

本书系全国第六届优秀建筑结构设计评选出的大跨、空间、工业及特种建筑结构部分 37 个获奖项目汇编而成, 是我国 2004~2008 年期间大跨、空间、工业建筑结构及特种建筑结构的代表作。每个项目均介绍工程概况、计算方法、地基基础、结构布置和构造大样等, 以图为主, 辅以少量文字说明, 具有较强的技术性、实用性和资料性, 对建筑结构设计及施工人员、土建类大专院校师生有较大参考价值。

* * *

责任编辑: 蒋协炳

责任设计: 张 虹

责任校对: 王雪竹 赵 颖

建筑结构优秀设计图集

10

《建筑结构优秀设计图集》编委会

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 34½ 插页: 25 字数: 835 千字

2011 年 9 月第一版 2011 年 9 月第一次印刷

定价: 90.00 元

ISBN 978-7-112-13077-1

(20492)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

《建筑结构优秀设计图集》编委会

主 任：徐培福

副主任：柯长华 徐 建

委 员：（以姓氏笔画为序）

陈远椿 肖从真 柯长华 赵基达

徐 建 徐培福 黄宝清 蒋协炳

序 言

随着国家经济持续快速发展,我国已成为世界建筑业最活跃、繁荣的地区之一,建筑的建造速度和规模属世界之前列,涌现了一批优秀建筑,丰富了建筑形式和结构体系。这些优秀建筑是建筑师、结构工程师及机电设备等工程师通力合作的结晶。结构工程师为新颖的建筑形式和现代化的建筑功能的实现提供了重要的技术支撑,对保证建筑工程的质量、安全和经济起着重要的作用。

为促进我国建筑工程健康、快速发展,提高结构设计技术水平,鼓励结构工程师的积极性和创造性,中国建筑学会十分赞成建筑结构分会开展全国优秀建筑结构的评选。2009年我会又继续承办了第六届全国优秀建筑结构设计评选,建设部质量安全司也积极支持此项评选,为支持单位。全国优秀建筑结构设计奖为国内建筑结构设计最高荣誉奖。当前,这一奖项的评选已受到全国各设计单位和结构设计人员的欢迎和积极支持,在行业中享有很好的声誉。

第五届优秀建筑结构设计评选范围是2004~2008年期间建成的建筑工程的建筑结构设计。此次活动得到了各省、市、自治区建筑学会、各设计单位的热烈响应,申报项目共139项。为做好评审工作,组织了由30名全国著名的结构专家组成评审委员会;公开发布评奖的条件:1.在建筑结构设计中有所创新,对提高建筑结构设计水平有指导意义;2.在建筑结构设计中解决了难度较大的结构问题,对提高建筑结构设计水平有指导作用;3.在建筑结构设计中适应建筑功能要求,对提高工程质量和施工速度有显著作用,取得显著的经济效益。评审委员认真负责地审阅申报材料,评审会上进行讨论评议,最后采用无记名投票方式产生了一等奖13个、二等奖25个、三等奖45个;评选结果于2009年11月15日~12月15日在中国建筑学会网站上公示,听取意见;最后于2010年10月由中国建筑学会在中国建设报、建筑学报、建筑结构学报、建筑结构刊物上正式发布获奖项目名单。并在中国建筑学会建筑结构分会年会上向获奖省颁发奖状和证书。

为进一步表彰获奖的优秀建筑结构工程,并满足广大读者的需要,每届优秀建筑结构设计评选后,我们都精选部分获奖项目汇编成图集。在第一届和第二届评选后,汇编成第1册和第2册图集;第三届评选后汇编成第3和第4两册图集;第四届评选后汇编成第5和第6两册图集;第五届评选后汇编成第7和第8两册图集。本届评选后,在83项获奖项目中我们精选了74项汇编成两册。其中第9册收集了优秀多、高层建筑结构设计,第10册收集了优秀大跨度空间结构及特种结构设计。由于各获奖设计单位的大力支持、编委会成员的努力,本书能在较短的时间内正式出版。

本图册的内容包括各工程的工程概况、计算方法、结构布置、构造大样、配筋做法、抗震构造措施,部分工程还介绍了试验研究主要结果。对于结构设计人员,有较好的参考

价值。

在参考这些工程的经验时，请注意 2010 年我国一批主要的结构设计标准规范已完成了修订并将正式发布实施，本书中有一部分工程是按修订前的标准规范设计的，修订后的新规范适当提高了安全度，对结构规则性、地震作用、荷载组合、抗震措施以及对复杂结构的特殊要求等都增加了新的内容。本书收集的部分工程设计难免有个别内容与新标准规范不符合之处，望请读者注意和谅解。此外，也请读者在参考这些工程经验时，注意实际工程所处的地震地面运动强弱和地基情况不同，设计中选定的抗震性能目标不同，风作用、气候温度变化、建筑使用功能不同等情况，针对具体情况作具体分析是必要的，尤其是超限高层建筑结构的设计，更要注意分析具体情况。



2010 年 9 月

目 录

序言

大跨及空间建筑结构

国家体育馆工程结构设计	3
国家游泳中心结构设计	27
浦东国际机场二期航站楼	37
首都国际机场 T3 航站楼结构设计	50
国家图书馆二期工程结构设计	66
北京首都机场 AMECO—A380 飞机库结构设计	83
国家体育场结构设计	93
常州市体育馆会展中心结构设计	111
广东省博物馆新馆结构设计	122
沈阳奥林匹克体育中心体育场结构设计	139
北京奥林匹克公园 (B 区) 国家会议中心结构设计	150
武汉体育中心二期工程体育馆结构设计	161
郑州新郑国际机场航站楼改扩建工程钢屋盖结构设计	171
南京铁路旅客站房结构设计	184
独山子文体活动中心结构设计	197
杭州国际会议中心	214
延安市体育场改建	228
中国出口商品交易会琶洲展馆二期工程结构设计	240
中国农业大学体育馆 (2008 年奥运会摔跤比赛馆) 结构设计	254
印象·海南岛钢结构实景仿生剧场	262
老挝国家体育公园主体育场馆结构设计	276
北京大学 08 奥运乒乓球馆大跨度预应力桁架壳体结构设计	285
安徽大学新校区体育馆结构设计	298
集美大学综合体育馆结构设计	312
松江大学资源共享区 (体育馆、游泳馆) 结构设计	322
复旦大学上海视觉艺术学院图文展示中心结构设计	333
泉州市海峡体育中心体育场结构设计	351
深圳文化中心——深圳中心图书馆、深圳音乐厅	373
坦桑尼亚国家体育场支座设计	394

工业建筑结构与特种建筑结构

上海电气临港重型机械装备有限公司联合厂房 700t 重型跨 411

广东科学中心结构设计 430

国家奥林匹克体育中心体育场改扩建工程结构设计 460

奥林匹克多功能演播塔结构设计 485

西电变压器电抗器生产厂房及高压试验室重型钢结构设计 500

四川省展览馆改造工程（四川科技馆）结构设计 515

成都新一代天气雷达建设基础设施塔楼结构设计 527

2 号船体装焊车间钢结构厂房设计 535

大跨及空间建筑结构

国家体育馆工程结构设计

建设地点 北京市奥林匹克公园中心区

设计时间 2004/2006

工程竣工时间 2007

设计单位 北京市建筑设计研究院

[100045] 北京市南礼士路 62 号

北京市城建设计研究总院有限责任公司

[100037] 北京市阜成门北大街 5 号

主要设计人 覃 阳 陈金科 冯 阳 朱忠义 柯长华 许 硕 秦 凯

王 毅 周 凯 曾丽荣 杜申瑞 薛慧立 甘 明

本文执笔 覃 阳 冯 阳 朱忠义 陈金科

获奖等级 全国第六届优秀建筑结构设计一等奖

一、工程概况

国家体育馆坐落于奥林匹克公园中心区的南部，是中心区最重要的建筑之一（图 1）。作为第 29 届奥林匹克运动会主要比赛场馆之一，国家体育馆在奥运会及残奥会期间主要进行体操（不包括艺术体操）、蹦床、手球、轮椅篮球四个项目的比赛。

国家体育馆由主体建筑和与之相连的热身馆以及室外环境组成，建设用地南北长约 335m，东西长约 207.5m，总用地面积 6.87ha，建筑高度 42.747m，建筑面积 80890m²，总投资约 8.5 亿元；整个工程充分体现出中国特色，是奥运中心区内唯一一座由我国自行设计、自行施工、全部采用国产建材建设的场馆，是目前国内设施最完善的体育馆（图 2、3），也是亚洲目前最大的室内体育馆。

国家体育馆设计中强调用成熟理性的思维去塑造设计一个“经济，合理，美观”的奥运场馆，将“科技奥运，绿色奥运，人文奥运”的三大理念，实实在在落实在建筑中，同时设计时注重充分考虑它的赛后运营模式，将实用性贯穿融汇在建筑设计的各个方面。体育馆屋面由双向跨度达 114.5m×195.5m 的空间双向张弦钢结构和金属屋面覆盖外壳构成，呈南高北低的弧形曲线，屋面标高约为 38~43~28m。

国家体育馆采用下沉式设计，室内比赛场地标高为±0.000，建筑物东、西、北侧的下沉广场地坪标高为-0.150m（相当于该场地自然地坪下 3.5m），南侧室外地坪标高为+5.850m，建筑物最高点约为 43m（以±0.000 计）。主体结构采用钢筋混凝土框架—抗

震墙与型钢混凝土框架—钢支撑组合的结构体系，地下 1 层、地上 4 层，其中地下 1 层为车库、人防及设备机房，首层以上根据建筑功能从空间上划分为两个馆：即由比赛场地、看台、休息厅构成的比赛馆和由热身场地及配套用房构成的热身馆；比赛馆平面轴线尺寸为 $114\text{m} \times 144.5\text{m}$ ，首层为比赛场地和办公用房，2 层、4 层为观众看台和休息大厅，3 层为 VIP 包厢；热身馆平面轴线尺寸为 $51\text{m} \times 63\text{m}$ ，主要为 1 层空间，局部两层；各层层高分别为地下 1 层 4.0m ，首、2 层 6.0m ，3、4 层 4.0m ；主要柱网尺寸为 $8.5\text{m} \times 8.5\text{m}$ ，另有 $8.5\text{m} \times 12\text{m}$ 、 $8.5\text{m} \times 4.25\text{m}$ 柱网。体育馆屋盖采用大跨度双向张弦空间网格结构，由设于体育馆外围的 78 根型钢混凝土柱支撑；整个结构未设永久性结构缝。

二、结构设计标准

国家体育馆作为 2008 年奥运会的主场馆，根据《国家体育馆奥运工程设计大纲》的要求，结构设计标准如下：建筑结构设计使用年限（耐久年限）混凝土结构为 100 年、钢结构为 50 年；结构设计基准期（可靠度）为 50 年；建筑结构安全等级为一级（ $\gamma_0 = 1.1$ ）；建筑地基基础等级为甲级，抗震设防类别为乙类；建筑物耐火等级为一级；地下工程的防水等级为一级。

三、荷载作用

1. 地震作用

地震作用以规范 GB 50011—2001 为标准进行取值，参考《国家体育馆工程场地地震安全性评价补充工作报告》及其批复中的地震动参数进行必要的计算和复核。水平地震动参数见表 1。

水平地震动参数

表 1

地震烈度	50 年设计基准期 超越概率	地面最高加 速度 (g)	水平地震影响系数 最大值 $\alpha_{\max}$	特征周期 T_g
多遇地震	63%	70	0.16	0.45
设防烈度	10%	200	0.46	0.6
罕遇地震	2%	400	0.95	0.9

进行多遇地震和罕遇地震分析时，分别采用三条由地震局提供的本场地 50 年超越概率的水平加速度时程，持续时间不少于 12s，时程分析时步长不大于 0.02s。

屋盖的大跨结构和长悬臂结构的竖向地震作用标准值取屋盖结构、构件重力荷载代表值的 15%。

钢筋混凝土结构：弹性分析，阻尼比 $\xi_L = 0.05$ ；弹塑性分析，阻尼比 $\xi = 0.05$ ；

钢屋盖结构：弹性分析，阻尼比 $\xi_L = 0.02$ ；弹塑性分析，阻尼比 $\xi = 0.03$ 。

2. 重力荷载

楼面荷载标准值：一般房间按照规范 GB 50009—2001 选用，比赛和热身场地考虑日后综合使用取值为 10kN/m^2 ，临时看台区域为 6kN/m^2 。

屋面恒荷载：包括屋面板系统、檩条、吸声材料、马道、机电、固定吊挂荷载等，分

项如下：

- 结构上弦屋面板和檩条—— 0.9kN/m^2 ；
- 结构下弦吸声材料—— 0.2kN/m^2 ；
- 结构下弦马道荷载—— 5.0kN/m （具体位置见图 4）；
- 结构下弦机电荷载—— 1.5kN/m^2 （具体位置见图 5）；
- 结构下弦固定吊挂荷载——按照实际考虑。

屋面活荷载和雪荷载：包括以下两种类型，并且这两种类型的活荷载可以同时存在。

第一种类型（活荷载 1）：包括均匀分布的活荷载，按照规范取值 0.5kN/m^2 ，以及不均匀分布的雪荷载，共考虑 8 种布置方式（图 6）：

- 布置 1：屋盖均布；
- 布置 2、3：比赛区域或热身区域均布；
- 布置 4、5：以南北对称轴线为分界线，在屋顶的东、西区域均布；
- 布置 6、7、8：以屋顶柱面的最高点为分界线，在不同区域均匀布置。

第二种类型（活荷载 2），为演出吊挂荷载。本工程赛后为多功能使用，为满足举行大型文艺演出、各类国际大公司的顶级发布会等的需求，钢屋架上的主要吊挂荷载（活荷载）共考虑 7 种可能的布置方式（图 7）。

3. 风荷载

基本风压按 100 年一遇取值： $w_0=0.5\text{kN/m}^2$ ；风压高度变化系数按 C 类地面粗糙度采用；屋盖结构的风振系数取 1.5；体型系数 u_s 根据风洞试验结果确定，风荷载以吸力为主。

4. 温度作用

混凝土结构考虑 $\pm 15^\circ\text{C}$ 的温度变化作用；屋盖钢结构温度应力分析所采用的设计温差值为 $\pm 25^\circ\text{C}$ （假定合拢温度为 $+15^\circ\text{C}$ ）。

四、下部主体结构设计

1. 结构布置

结构设计时充分利用平面上分布均匀的楼、电梯间和机电设备用房布置钢筋混凝土剪力墙，沿外圈柱布置柱间钢支撑作为结构主要抗侧力构件。屋盖的水平 and 竖向力主要通过外圈型钢混凝土框架和钢支撑传至下部结构和基础，楼板采用全现浇钢筋混凝土板，看台结构采用二次施工的现场浇注混凝土梁板构件。整个结构未设变形缝，在适当位置设置了施工后浇带（图 8、9）。

主要构件截面尺寸及混凝土强度等级 表 2

项 目		截 面 尺 寸	强度等级
楼盖厚度 (mm)	± 0.00 层板	300	C40
	$+6.00$ 层板	250	
	其余楼层板	200	

续表

项 目		截 面 尺 寸	强度等级
柱截面 (mm)	内柱	600×600, 700×700, 700×1000	C40, C50
	支撑屋盖型钢混凝土柱	700×1400 (900×300×20×30)	C50 Q345-C
		700×1600 (1000×400×20×30)	
		700×1800 (1500×300×20×30)	
梁截面 (mm)	一般梁	500×800, 600×800, 600×1700	C40
	型钢混凝土梁	450×800 (500×300×20×20)	C40
		600×800 (500×300×20×20)	
		800×800 (500×300×20×20)	
柱间支撑 (mm)	交叉杆件	1000×800 (500×300×20×20)	Q345-C
		H 型钢 500×400×20×30	
		500×300×20×30	
		500×250×20×30	
混凝土墙体厚度 (mm)	筒外墙	400×300×16×20	C50

2. 分析模型

在建立计算机三维空间仿真分析模型时，即使大型体育场馆建筑空间多变、结构体系复杂、结构构件种类多样、各子体系相交错包容，其分析模型也应该尽可能真实地反映结构构件的位置、截面尺寸、连接方式等。由于大跨度钢结构屋盖的刚度及支座约束条件在地震作用下对主体结构的周期、位移、内力的传递等有着不容忽视的影响，因而屋盖部分也应按照实际布置方式输入，从而保证各子体系间的相互空间作用及变形耦合的真实性（图 10）。在设计中为避免单一设计分析软件的局限性，我们分别采用了 PMSAP、ETABS、SATWE 空间分析软件同时进行计算分析比较，从而增强对结构性能的把握和判断。

由于本工程是平、立面均不规则的大跨度空旷复杂空间结构，看台以下有明显的建筑层，但看台以上的构件中包括屋盖体系实际处于一个空间区域中，不能用传统意义上的层来描述，分析模型中的层是人为划分的，相应的我们也不能简单的套用机算结果中的楼层位移和层间位移角，对位移的控制需采用节点位移统计的方法进行确定。

3. 结构设计

(1) 结构抗震设计原则

结构的抗震分析采用三水准、两阶段设计法。

第一阶段设计：进行了多遇地震作用下的弹性分析，分别采用振型分解反应谱法和时程分析法验算结构构件的承载力和结构的弹性层间位移，以保证在第一水准下结构整体处于弹性状态。钢筋混凝土框架—抗震墙与型钢混凝土框架—钢支撑组合结构体系的构件抗震等级：支撑屋盖的 78 根型钢混凝土框架柱按特一级考虑，其他剪力墙及框架均为一级。

考虑到本工程结构的复杂性以及工程的重要性，设计时还进行了中震作用下的弹性分析，保证主要结构构件在中震作用下不屈服（对构件内力的调整系数均为 1，材料强度及荷载均取标准值），以确保实现在第二水准下损坏可修的目标。

第二阶段设计：进行罕遇地震作用下的弹塑性分析，通过静力的弹塑性分析及动力弹塑性时程分析验算结构的弹塑性层间位移角使其满足规范的要求，并采取相应的抗震构造措施以实现第三水准的设防要求。

(2) 结构体系和结构分析

1) 看台部分的钢筋混凝土框架—剪力墙结构体系

看台部分的钢筋混凝土框架—剪力墙结构体系是体育馆主要功能区的结构主体，从建筑功能上分为固定看台和附属用房两部分。固定看台从层 2 开始由池座、包厢层及楼座组成，共 3 层（图 11）。附属用房分布于地下层 1 至地上层 4 的看台下部。在看台楼座以下利用楼、电梯间及卫生间、机房等在平面上均匀、对称的设置 10 个钢筋混凝土筒作为主要抗侧力构件，楼座部分则利用看台斜梁与框架柱形成的诸多三角形结构单元作为其主要抗侧力构件。该结构体系的受力主要特点是地震力传递直接简单，结构刚度非常好，变形较小。

通过计算分析发现，楼座部分的看台结构，由于混凝土筒体减少，结构刚度相对于下部结构薄弱，但将看台斜梁与外排型钢混凝土框架柱拉接后形成的三角形结构单元具有较好的抗侧力刚度及能力，可以使看台部分的钢筋混凝土框架—剪力墙结构体系与支撑屋面的型钢混凝土框架—钢支撑结构体系形成整体协同作用，在加强了看台楼座部位结构刚度的同时既有效地将屋盖结构的地震力部分传至了框架—剪力墙结构，又减小了型钢混凝土框架柱在平面外的计算长度，提高了其平面外的刚度和稳定性，从而形成了整体性及刚度更好的混合结构体系。本工程对看台斜梁顶部与外排型钢混凝土柱拉接与不拉接进行了结构自振周期和位移的对比分析比较（图 12），从计算结果可以看出拉接后结构第一振型的周期减短了约 13%（表 3），支撑屋面的型钢混凝土框架柱柱顶位移则减小了 15%~25%；不论是看台斜梁部分还是型钢混凝土框架柱其相应部位的变形均大大减小。

周 期 和 振 型 表 3

振型号	拉 接		不拉接	
	周期 (s)	振型模态	周期 (s)	振型模态
1	0.5488	Y 向平动	0.6188	Y 向平动
2	0.4818	X 向平动	0.5192	X 向平动
3	0.4347	扭转振型	0.4374	扭转振型

看台斜梁与外排型钢混凝土柱拉接的这一受力关键部位在地震作用下处于复杂受力状态，设计中我们对该部位进行了加强，在第四层楼层框架梁以及看台斜梁与型钢柱的连接部位均设置型钢混凝土框架梁，通过这样的设计一方面可以强化地震反应关键区的抗力，另一方面，不同子体系和材料之间应该适当过渡，避免刚度突变，造成抗力不平衡性破坏。

2) 外围支撑屋面的型钢混凝土框架—钢支撑体系

作为整个体育馆大跨钢结构屋盖的支撑系统，该体系所承受的地震作用在整个结构中

占有相当高的比例,是整个体育馆结构抗震体系中最重要的重要组成部分,必须进行针对性的加强。设计中我们在外排柱、梁中均采用了型钢混凝土,利用型钢良好的延性提高结构的抗震性能;结合建筑立面及功能要求,我们在柱间设置了钢支撑以提高结构的整体性,增加结构平面内的刚度及抵抗水平地震作用的能力,使结构平面刚度分布更为均匀,减少了扭转的影响。最终形成了由 78 根型钢混凝土柱、437 根型钢混凝土梁、278 组钢支撑(其中比赛馆四角连续两跨布置的钢支撑为双排支撑)组成型钢混凝土框架—钢支撑体系(图 13)。

型钢混凝土柱顶标高从 22.940~28.220m~37.133~33.620m,沿南北向呈泼浪形布置。柱内型钢截面主要为王字型,梁内型钢截面为 H 型。本工程中型钢混凝土柱、梁与钢支撑形成的边桁架与屋盖下的拱形桁架与其他型钢柱、梁共同作用形成了十分明显的空间效应。计算分析表明,对型钢混凝土梁、柱内型钢截面的调整和型钢混凝土柱间钢支撑的布置位置及截面的调整,将使体系中不同部位构件的内力及变形呈现出明显的变化规律。特别是钢支撑布置位置和截面的调整,会对结构的反应模态、周期、位移、柱底部反力、体系边缘构件的内力等产生较大影响。因此从对地震反应的敏感性亦能看出,型钢混凝土框架—钢支撑体系是整个体育馆结构体系中最主要的安全防护屏障,对整个结构的主要振型及周期有着最直接的影响。

在设计过程中我们还针对不同的钢支撑布置方式进行了对比分析,从计算结果不难发现,钢支撑在这种复杂空间结构体系中的作用非常明显,在布置钢支撑的情况下较无钢支撑结构刚度提高约 75%(表 5),并且使整体结构刚度更为均匀,大大推迟了第一扭转振型的出现(表 4)。在型钢柱端部及型钢柱顶部设置连续钢支撑(计算模型 1)与仅在型钢柱端部设置连续钢支撑(计算模型 2)比较虽然结构刚度仅增加大约 20%,但支撑屋面的型钢柱、梁与钢支撑形成的边桁架和屋面下随屋面曲线布置的拱形桁架协同作用所产生的空间效应可以在一定程度上消减角柱的内力,从而使周边的型钢混凝土柱内力分布相对均匀,因此本工程最终采用了在型钢柱端部及型钢柱顶部设置连续钢支撑的布置方式(图 13)。

周 期 和 振 型 表 4

振型号	模型 1		模型 2		未设支撑	
	周期 (s)	振型模态	周期 (s)	振型模态	周期 (s)	振型模态
1	0.5488	Y 向平动	0.6577	Y 向平动	0.9589	Y 向平动
2	0.4818	X 向平动	0.5423	X 向平动	0.9500	X 向平动
3	0.4347	扭转振型	0.4567	扭转振型	0.7772	扭转振型

楼层层间最大位移层高之比 表 5

楼层	模型 1		模型 2		未设支撑	
	X 向位移角	Y 向位移角	X 向位移角	Y 向位移角	X 向位移角	Y 向位移角
6	1/794	1/1134	1/671	1/1019	1/441	1/630
5	1/1294	1/1600	1/1274	1/1259	1/532	1/681
4	1/1085	1/1282	1/1163	1/1182	1/723	1/667

续表

楼层	模型 1		模型 2		未设支撑	
	X 向位移角	Y 向位移角	X 向位移角	Y 向位移角	X 向位移角	Y 向位移角
3	1/1307	1/873	1/1236	1/902	1/745	1/662
2	1/1798	1/1288	1/1785	1/1334	1/1787	1/1212
1	1/24681	1/22616	1/24573	1/22725	1/24672	1/22548

型钢混凝土框架—钢支撑结构体系在平面和立面上的布置上非常灵活、可塑性较强，钢支撑的布置在满足结构设计要求的前提下，亦可依据建筑立面和造型进行调整，最大可能的满足建筑师对美学和实用的要求。体育馆外围护结构为透明幕墙，但其室内大空间的通风、排风和大型屋面的排水问题均需要有竖向路由得以解决，我们为此将竖向的钢支撑布置与竖井布置相结合，于比赛馆的四个角部设计了双层钢支撑，使设备风道、管道在双层支撑的空隙间穿过，并在风道间的缝隙中设置圆钢管将双层支撑连接起来形成整体协同作用，既满足了建筑师对平面、立面、空间使用的要求又大大加强结构的整体刚度。

(3) 节点设计

型钢混凝土构件能充分发挥型钢和混凝土材料各自的优点，但型钢混凝土框架的节点设计常常是该体系设计的难点。本工程中设置的大量的钢支撑则使节点更加复杂化。由于体育馆的体量大，建筑立面设计要求严格，致使型钢柱间钢支撑节间距大，其平面外计算长度一般在 10m 以上，最大的达 15.17m。设计时为解决支撑平面外的刚度问题，需将 H 型钢支撑的截面强轴置于平面外，弱轴置于平面内，由此必然导致支撑节点区域的钢支撑与型钢梁交汇处的翼缘相对较宽，达到 560mm，宽翼缘构件元素的加入更增加了节点设计的复杂性。节点区域三向交叉的型钢与钢筋的空间矛盾关系非常突出，型钢柱的部分主筋必须穿过型钢梁和钢支撑的翼缘板才能保证型钢柱的截面性能，同时型钢梁的部分主筋也受阻于钢支撑的翼缘，而在型钢梁和钢支撑的翼缘开孔会导致截面力学性能上的部分损失、会降低型钢的设置效能，因此节点设计的关键目标是不仅要找回失去的型钢截面，同时还要相对加强节点区的型钢性能，确保型钢混凝土框架节点在地震作用下的可靠。

本工程采用对节点区域型钢变截面的方法，利用截面几何和物理性能的等效法则对型钢截面适当开孔穿筋，这样设计一方面加强了节点区域的截面刚度，保证了型钢截面的力学性能，另一方面使钢筋的连接和锚固同样得到较好的解决。

对于型钢混凝土框架结构，其构件性能可通过截面中型钢与钢筋混凝土的相对比率进行调整。在节点设计时我们利用截面的等效性和型钢的可塑性，加大节点区梁中型钢高度，使梁中钢筋收敛于节点区域的型钢翼缘板，梁截面的性质由跨中型钢与钢筋混凝土的二元截面转换为相对比较纯粹的型钢混凝土截面，避免节点区域过多钢筋穿插而降低和削弱节点整体性能，通过这样设计，型钢梁的跨中截面和支座截面的力学性能将会有所区别，特别是在地震作用下的延性得以改善，强节点目标得以实现（图 14~18）。

五、基础设计与看台设计

1. 基础设计

本工程采用天然地基。比赛场地和观众厅基础形式为钢筋混凝土梁筏基础，持力层主